

УДК 620.193

**В. А. Данилов<sup>\*</sup>, Д. Л. Мерсон**

НИИ Прогрессивных технологий, Тольяттинский государственный университет,  
г. Тольятти

*\*VA.Danilov@yahoo.com*

Научный руководитель — проф., д-р физ.мат. наук Д.Л. Мерсон

## ОЦЕНКА КОРРОЗИОННОЙ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНФОКАЛЬНОЙ ЛАЗЕРНОЙ СКАНИРУЮЩЕЙ МИКРОСКОПИИ

Работа посвящена проверке эффективности применения метода конфокальной лазерной сканирующей микроскопии (КЛСМ) для количественной оценки повреждений поверхности металлических материалов при коррозионных испытаниях. На примере чистого магния разработана и апробирована методика, позволяющая за один тест определять скорости равномерной и локальной коррозии.

*Ключевые слова:* конфокальная лазерная сканирующая микроскопия, коррозия металлов, магний, методика коррозионных испытаний

**V. A. Danilov, D. L. Merson**

## ASSESSMENT OF CORROSION DAMAGE OF METAL MATERIALS USING CONFOCAL LASER SCANNING MICROSCOPY

This work is devoted to testing the effectiveness of the method of confocal laser scanning microscopy (CLSM) for the quantitative assessment of surface damage of metallic materials during corrosion tests. Methods, which allows to determine the rates of uniform and local corrosion in one test, was developed and tried out using pure magnesium as an example.

*Key words:* confocal laser scanning microscopy, metal corrosion, magnesium, corrosion test methods

**В**опросы коррозии уже многие десятилетия находятся под пристальным вниманием исследователей во всем мире [1], и одним

из таких вопросов является объективная оценка коррозионной повреждаемости.

Среди количественных методов исследования последствий коррозии на первом месте находится весовой метод, который, однако, имеет ряд недостатков: низкая точность и невозможность корректной оценки в случае локальной (неравномерной) коррозии. Таким образом, существует необходимость в разработке более точных и эффективных методов исследования коррозии, способных количественно описать не только равномерную, но и другие типы коррозии.

Для решения этой проблемы перспективным выглядит метод конфокальной лазерной сканирующей микроскопии, уже хорошо зарекомендовавший себя при решении различных металловедческих задач, в том числе в наших предыдущих работах, посвященных количественной фрактографии [2].

Целью работы стал анализ возможности метода конфокальной лазерной сканирующей микроскопии в качестве эффективного инструмента для количественной оценки коррозионной повреждаемости металлических материалов.

Для исследования был выбран чистый магний в форме дисков диаметром 2 мм. Из каждого образца после заливки в эпоксидную смолу изготавливали шлиф до тонкой полировки. Далее готовый шлиф выдерживался в коррозионной среде (0,9NaCl) в течение 24 ч. В процессе коррозионных испытаний происходит повреждение только поверхности исследуемого металла, поэтому поверхность заливки можно принять за базовую плоскость, являющуюся точкой отсчета при дальнейших измерениях. После испытаний с образца удалялись продукты коррозии реактивом для магния и его сплавов по ГОСТ 9.907–2007.

Поскольку исследуемая поверхность после испытаний имеет достаточно сложный с большими перепадами рельефа, для получения ее качественной картины требовалось отработать оптимальные режимы построения изображений с помощью КЛСМ: подобрать объектив, увеличение, шаг сканирования и фильтр для устранения оптических шумов.

*Выбор объектива и увеличения.* Исследовались 7 объективов, входящих в стандартную комплектацию прибора. Оказалось, что большинство объективов имело либо слишком низкое увеличение и разрешающую способность, либо слишком малое рабочее расстояние, и только один объектив — *MPLAPON20XLEXT* — обладал оптимальными пара-

метрами: обеспечивал высокую разрешающую способность при увеличении  $400\times$  и достаточное для безопасной работы расстояние между объективом и исследуемой поверхностью.

*Выбор фильтра для устранения шумов.* Перед началом каких-либо измерений для устранения шумов, возникающих в процессе съемки, требуется применять фильтрацию изображений. Согласно проведенным исследованиям, наиболее эффективным инструментом для удаления шумов является фильтр «pre-measurement» (PM), обеспечивающий полное удаление шумов и минимальное искажение реальной поверхности.

*Выбор шага сканирования вдоль оси Z.* Уменьшение шага сканирования, с одной стороны, повышает разрешающую способность, а с другой, — приводит к увеличению времени сканирования. Показано, что шаг сканирования, равный  $0,8\text{ мкм}$ , обеспечивает достаточное разрешение при минимальных трудозатратах (времени съемки).

С применением описанных выше параметров методики были сняты панорамы образцов из чистого магния после коррозионных испытаний до (рис., а) и после (рис., б) удаления продуктов коррозии, при этом вся площадь образца разбивалась на 16 кадров размерами  $640\times 640\text{ мкм}$  каждого.

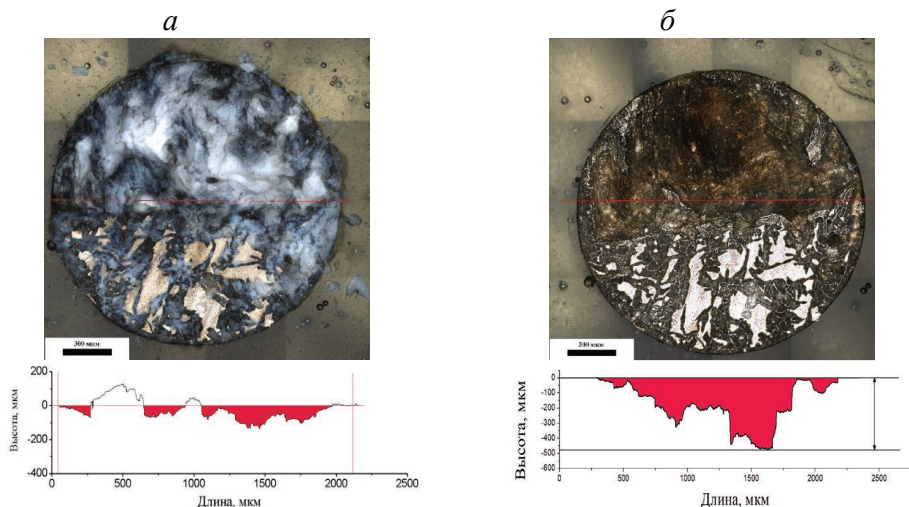


Рис. Панорамные изображения поверхности образцов, полученные с помощью КЛСМ:

а — после выдержки в  $0,9\text{NaCl}$ ; б — после удаления продуктов коррозии

Согласно профилограммам, полученным на основе данных съемки рельефа поверхности, коррозия чистого магния имеет неравномерный характер (рис., б). Очевидно, что максимальная скорость локальной коррозии определяется отношением наибольшей глубины проникновения коррозии к времени экспозиции в коррозионной среде (в данном случае 447 мкм/сут), а скорость равномерной коррозии равна отношению потерянного объема металла, отнесенного к площади сечения образца и времени экспозиции ( $\sim 34$  мм/год).

Таким образом, проведенное исследование показало, что метод КЛСМ является перспективным и эффективным инструментом для количественного анализа образцов после коррозионных испытаний и позволяет численно оценить как равномерную, так и локальную коррозию.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ  
в рамках научного проекта № 19–38–90090.*

#### **Литература**

1. Жук Н. П. Курс теории коррозии и защита металлов. М. : ООО ТИД «Альянс», 2006. 472 с.
235. Confocal laser scanning microscopy: The technique for quantitative fractographic analysis / E. D. Merson, V. A. Danilov, D. L. Merson, A. Yu. Vinogradov // Engineering Fracture Mechanics. 2017. Т. 183. Р. 147–158.